

# 광학부품 절삭을 위한 진동 절삭기구 개발 Development of vibration cutting for optical component

\*노진희<sup>1</sup>, MD. Mostofa Golam<sup>1</sup>, 강동배<sup>2</sup>, #안중환<sup>3</sup>, 권장열<sup>4</sup>

\*J. H. Noh<sup>1</sup>, #MD. Mostofa Golam<sup>1</sup>, D.B. Kang<sup>2</sup>, J.H.Ahn<sup>3</sup> (jhwahn@pusan.ac.kr), J.R. Kwon<sup>4</sup>

<sup>1</sup> 부산대학교 대학원 기계공학부, <sup>2</sup> 부산대학교 대학원 지능기계공학과, <sup>3</sup> 부산대학교 기계공학부, <sup>4</sup> (주)MNL

Key words : vibration cutting, optical component, piezo, modal analysis

## 1. 서론

초정밀 기계부품들의 수요가 micro electromechanical system, 나노 기술과 바이오 기술 등의 진보에 따라 증가함에 의해 초정밀 가공 기술의 중요성은 더욱 커지고 있다. 플라즈마, 디스플레이 패널의 격벽, 액정 디스플레이의 라이트 가이드 판, 프레즈넬 렌즈 주형에서 흔히 발견되는 마이크로 홈과 같은 아주 작은 크기의 형상을 가지는 기계 부품들의 제조에 있어서 버 형성을 억제하고 톨 수명을 개선하는 동시에 요구되는 형상, 정도와 마이크로 표면의 품질 달성을 위해서는 고정도, 정밀의 가공 기술이 요구된다. 하지만 플라스틱계 광학 부품은 재료의 종탄성 계수가 작아 변형되기 쉽고, 공구인성 형상의 전사성이 좋지 못하기 때문에 절삭 가공에 의해 광학 부품으로서의 정도를 만족시키기 곤란하다.[1]

실제 램프의 빛을 받아들이는 도광판, 수광부의 가공기술은 다이아몬드 공구를 사용하나 단순한 절삭 가공을 하며 이로 인하여 미세절삭 가공에서의 치수효과에 의한 절삭력 증가, 재료 결정입계의 영향 등에 의해 심한 소성변형과 재료의 탈락 등이 유발되며, 버 및 가공형상의 찌그러짐에 의한 표면 조도 저하의 결과를 가져왔다.

이러한 가공 상의 문제점을 해결하기 위한 절삭 방법으로 진동절삭이 오래 전부터 선진국의 일부 연구자들에 의해 시도되어 왔다. 진동절삭은 마찰력 제어와 절삭력의 감소, 절삭열 발생 및 버 발생을 억제 할 수 있어서 고정도를 요구하는 가공에 적합하다.

본 연구에서는 광학부품 절삭을 위한 진동절삭 기구 개발을 위해 진동모드 해석을 통한 적절한 절삭기구 설계 하고 압전소자를 삽입한 절삭기구의 성능평가를 수행하고자 한다.

## 2. 진동 절삭기구의 개념

강제 진동을 부가하여 가공하는 진동절삭기구는 공구에 규칙적인 진동수와 미세한 진폭을 주어 절삭하는 방법으로 공작물에 펄스파형의 가공력을 연속적으로 작용시켜 정밀 가공을 수행하는 방법이다.

진동절삭은 순수한 절삭력만이 작용 하여 절삭력이 저감하는 효과와 공구가 진동하는 전체 주기 중 실 절삭 시간 동안에만 접촉하기에 평균 절삭온도가 낮으며, 실 절삭시간이 짧아 구성인선이 부착될 시간적 여유가 없고 마찰력의 저감효과로 인해 구성인선이 억제 된다. 이는 일반 절삭의 경우 공구가 공작물에 절입 되면 가공계 전체가 정적 평형을 이룰 때까지 절삭력이 작용하는데 비해 진동절삭은 고속의 절삭이 순간적으로 이루어진 후 공구가 후퇴하여 절삭이 이루어지지 않기 때문에 과도적인 상태에서만 진행되기 때문이다. 이러한 이점을 이용하여 가공변형, 버의 발생저감효과, 기하학적 거칠기 개선효과, 절단 유체의 작용의 원활화, 공구 수명 연장 효과를 기대할 수 있다.[2]

진동절삭에서의 절삭 기구는 Fig.2 에서 보는 바와 같이 진동수  $f$ , 편진폭  $a$ , 진동주기를  $T$ 라고 할 때 원점 0에서부터 진동을 시작하는 바이트와 절삭속도  $v$ 는 이송하는 공작물에 대하여 시간에 따른 바이트의 변위곡선과 펄스형의 절삭력이 가해져서 2차원 절삭에서의 절삭력 파형이 나타나고 있다. 절삭 공구가 원점 0에서 진동을 시작하여 절삭속도  $v$ 로 이송하는 공작물을 향하여 진행할 때 E점에서 저축을 하여 EF사이 에 펄스형의 충격력이 작용한다. F점은 절삭공구 진행방향이 변화하는

점이며 공구의 속도는 0이 되지만 공작물은 속도  $v$ 를 가지고 있다. 여기에서  $v < 2\pi af$ 의 관계를 가진다면 공작물의 속도와 절삭공구의 속도가 동일하게 되는 A점까지 절삭되어 칩을 생성하게 되고 A점에서부터 공작물과 절삭공구의 경사면 사이에 분리가 일어난다. 절삭공구의 속도가 공작물의 속도보다 훨씬 빠르므로 절삭공구가 공작물을 향해 진행하여 되돌아 오는 시간, 즉 A점에서 B점까지의 직선거리만큼 공작물이 이송하므로 B점에서 절삭공구와 공작물은 재접촉하며 절삭하기 시작하고 BGD사이에 칩을 생성하게 된다. 이와 같은 운동을 계속하여 칩을 배출하게 되는 것이 진동 절삭 기구 이다.[3]

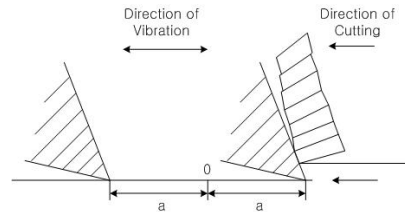


Fig. 1 Dimensional vibration cutting

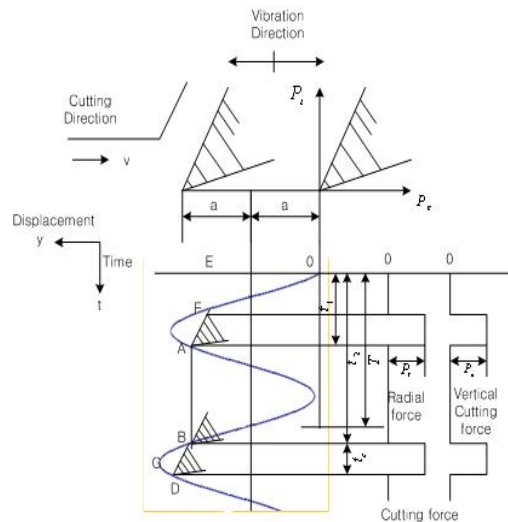


Fig. 2 Vibration cutting mechanism

## 3. 진동 절삭 기구 설계 및 해석

실제 광학부품 가공에 사용되는 다이아몬드 공구 홀더의 3D모델의 설계를 통해 고유 진동 해석과 정적 해석을 수행 하고 진동 절삭 가공에 적절한 주파수를 가지며 변위 방향을 가지는 공구 홀더의 형상을 설계하고자 한다. 공구홀더의 설계는 3D전용 프로그램인 Solidworks를 이용하여 Fig.3과 같이 모델링 하였으며 진동 및 정적 해석은 Ansys를 이용하여 수행하였다.

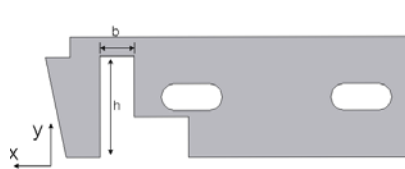


Fig. 3 Diamond tool holder 3D model  
b와 h의 값의 변화에 따른 고유 진동수변화와 압전소자에 의해

힘을 받는 방향에서의 정적 해석 수행을 통하여 h의 크기가 커질수록 x축의 강성이 약해지며 이로 인해 툴 전체의 비틀림 현상이 더욱 많이 발생하였고 응력집중 현상에 의해 변위는 증가하나 파손의 위험이 커졌다. b값의 경우 그 크기가 커짐에 따라 공구 홀더 전체의 강성이 약해지며 이로 인해 전체 고유진동수가 낮아짐을 확인할 수 있었다. 비틀림을 최소화하고 주파수를 높이면서 한계절삭 속도를 고려한 홀더의 모형은 11x1(hxb)로 선정하였다. Table 1은 설계된 공구 홀더의 고유진동수 모드 해석 결과를 나타낸다.

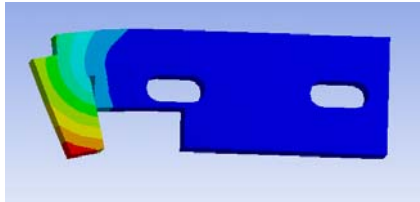


Fig. 4 Result of vibration modal analysis

Table 1 Result of Modal analysis

Mode	Frequency(Hz)
1	12220
2	13985
3	21035
4	25131
5	47052
6	48064

#### 4. 절삭기구 성능 평가 실험

정적 해석과 진동 해석을 통해 설계한 공구 홀더를 제작하였고 Fig.5에 나타내었다. 압전소자에 예압을 주기 위하여 양쪽 면에 볼을 삽입한 후 얇은 판을 접촉시켰으며 그림의 모습과 같이 피에조를 고정시켰다. 설계된 공구 홀더의 성능을 검증하기 위해 가진 전압과 주파수에 따른 변위와 그 크기를 측정하였다. Fig. 6은 실험장치 구성도 이다. 레이저 변위계를 이용하여 x, y, z축의 변위를 측정하였다. 주파수는 1kHz에서 20kHz까지 가진 시켜주었고 전압은 10~ 40V를 가압한 후 각각의 경우 변위를 측정 하였다. 압전소자는 PI사의 PL885.31을 사용하였고 앰프는 NF사의 HSA4052를 사용하였다.



Fig. 5 Vibration cutting tool holder

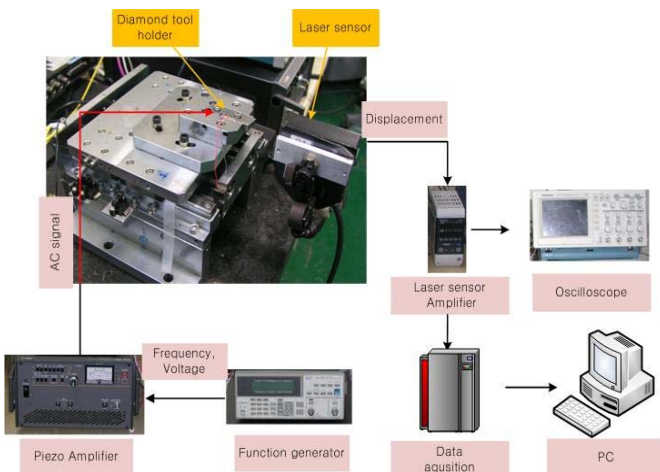


Fig. 6 Measurement of vibration cutting system

#### 5. 결론

광학 부품 소재의 절삭을 위한 진동절삭 기구 개발을 위하여 3D 모델 설계 후 진동 해석과 정적해석을 수행하였고 한계절삭속도와 가진 진동수에 알맞은 절삭 기구를 제작 하고 이의 성능 평가를 수행하였다. 실험 결과 시뮬레이션 결과와 같이 약 13kHz에서 공진점이 발견되었고 절삭방향과 동일한 y 방향에서 30v 가진 시 약  $\pm 2\mu\text{m}$ 의 변위를 가졌다. 반면 x와 z방향의 변위는 y 방향 변위의 10% 이하로 비교적 작은 크기로 나타났다. 사용 전압과 bxbh 홈의 크기 변화에 따라 변위와 주파수의 크기가 조정 가능하기에 가공 상황에 따라 그에 알맞은 진동 절삭 기구의 설계가 가능하며 이를 광학부품 소재의 절삭에 적용한다면 마찰력 제어와 절삭력의 감소, 절삭열 발생 및 버 발생을 억제할 수 있다.

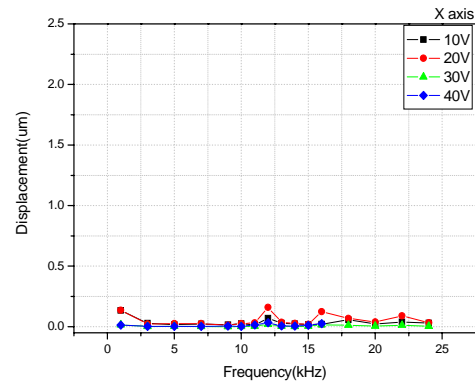


Fig. 7 Displacement of vibration cutting tool at x axis

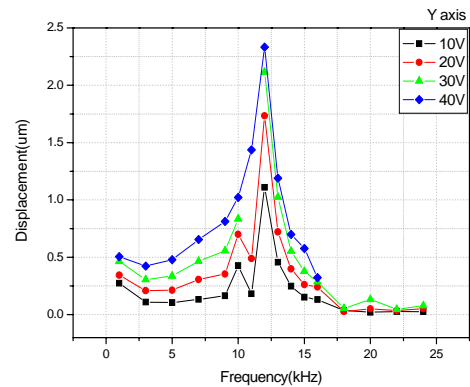


Fig 8. Displacement of vibration cutting tool at y axis

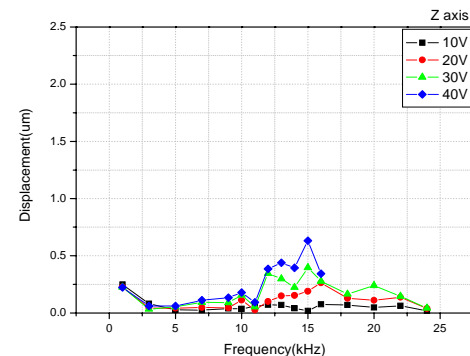


Fig 9. Displacement of vibration cutting tool at z axis

#### 참고문헌

1. 송영찬(Y. C. Song) · 社本 英二(E. Shamoto) · 森脇 俊道(T. Moriwaki), Ultra-precision cutting of Plastics for Optical Components by Elliptical Vibration Cutting ,2004. 10, pp. 7 ~ 10
2. E. Shamoto and T. Moriwaki " Ultraprecision Diamond Cutting of Hardened Steel by Applying Elliptical Vibration Cutting", Annals of the CIRP, Vol.48 , pp441-444, 1999
3. 임한석, " 다이아몬드공구에 의한 미세 홈 가공의 정도향상에 관한 연구," 부산대학교 박사학위논문, pp. 127-128, 1997